

上底吹き転炉の設計条件の確立とそのステンレス鋼製錬への応用

著者	加藤 嘉英
号	1152
発行年	1990
URL	http://hdl.handle.net/10097/9959

氏 名 加 藤 嘉 英

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 平成 2 年 9 月 12 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭 和 52 年 3 月

京都大学大学院工学研究科化学工学専攻

修士課程修了

学 位 論 文 題 目 上底吹き転炉の設計条件の確立とそのステンレス鋼
精錬への応用

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 徳田 昌則 東北大学教授 萬谷 志郎

東北大学教授 大森 康男 東北大学助教授 小林 三郎

論 文 内 容 要 旨

本論文は底吹き羽口配列の設計，二次燃焼率の促進を図った上吹きランスの設計および上底吹き法の物質移動速度の増加機構の解明を通して上底吹き転炉の基本設計条件を明らかにし，それに引き続いて従来法に比べて精錬時間の大幅な短縮が可能な上底吹き転炉によるステンレス鋼の新しい高速吹錬法について述べたものである。

本論文は 8 章で構成されている。

第 1 章では本研究の位置づけと目的を明らかにした。

第 2 章では底吹き羽口の最適設計のために，Fig. 1 に示すように①羽口への溶鋼侵入，②底吹きガスによる浴面の盛り上がり，③スピitting，④吹き抜けの 4 つの流動現象に着目してコールドおよびホットモデル実験を行い，それらと操業要因間の定量的な関係を見出した。羽口への液侵入条件を修正フルード数でまとめ，盛り上がり高さに関する半経験式を作成した。また，スピittingの重回帰式を作成して実炉データとの対応を確認するとともに，ガスが鋼浴中を連続

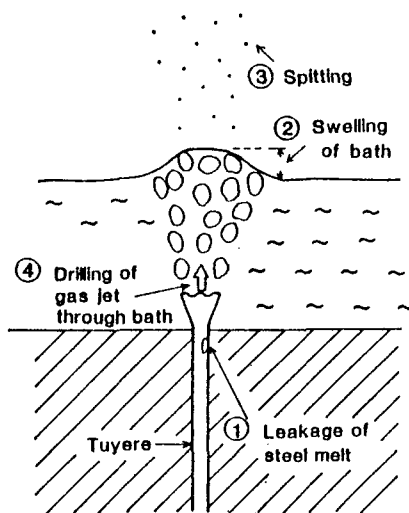


Fig. 1 Schematic representation of gas jet in metal bath introduced through a tuyere

相として通過する吹き抜け現象の理論式を導いてホットモデル実験でその妥当性を確認した。次いで、Fig. 2に示すように、実操業に重大な支障を来す羽口への溶鋼侵入と吹き抜け現象をともに回避するために羽口1本当たりのガス流量と羽口内径が取りうる領域を示した。本知見は上底吹き転炉の底吹き羽口の設計指針として使われている。

第3章では、底吹きガス吹き込みに起因した浴振動に関して述べた。浴の特定パターンの振動は炉体振動を誘起するので転炉設備の保守の面からも大きな問題となる。浴振動には気-液共存域を中心としてU字管中の液の振動のように左右に揺れるタイプ(Aタイプ)と、2つに分かれた気-液共存域が近寄っては離れる運動を繰り返すタイプ(Bタイプ)が存在する。浴振動の低減法を見出すために浴振動パターンと羽口配列、ガス流量などの要因の関係を求めるとともに、浴振動周期をモデルで説明し、浴振動の開始および減衰時間、さらに発生条件などを明らかにした。Fig. 3に示すように、浴内に持ち込まれる攪拌エネルギーの供給速度、 ϵ が同一ならばAタイプの浴振動のエネルギー、 E_A はBタイプのそれに比べて大きくなる。Aタイプの浴振動の発生を避けるように羽口配列を設定すべきである。本知見は上底吹き転炉(K-BOP)の羽口配列の設計に適用されている。

第4章では、二次燃焼メカニズムを知る一環として、炉内の反応を伴うガスの流れがシミュレート可能な2次元の数学モデルを構築し、その妥当性を300kg高周波炉での酸素吹錬実験で確認した。空間内のガスのフローパターンやガス成分、温度分布の計算から、ランス先端とく

ぼみに CO_2 濃度と温度のピーク値があり、かつそれらの勾配が大きいことなどがわかる。Fig. 4に計算の一例としてランス高さを変えた場合の温度分布を示す。なお、反応を伴う圧縮性流体の流れを転炉の系で解析した例はこれまであまり存在せず、その後同様の計算が行われている。

第5章では、転炉における二次燃焼促進法として有用な副孔つき上吹きランスの最適設計を図るために、反応を伴う傾斜ガスジェットの挙動を擬次元モデルで解析してジェットの軌跡、温度、

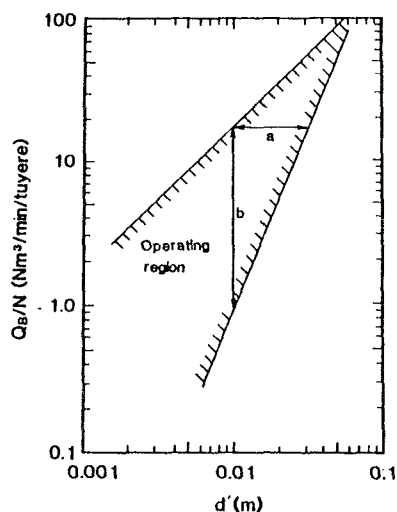


Fig. 2 Region of gas flow rate per tuyere and tuyere diameter where neither leakage of liquid nor drilling of gas jet exists

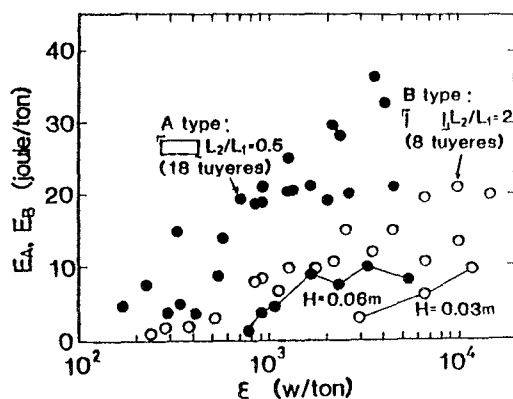


Fig. 3 Relation between energy of wave motion and rate of stirring energy supply

濃度分布を求めるとともに、実炉データと計算結果を結びつけて二次燃焼率の予測が可能なモデルを作成した。副孔からのジェットが到達可能な垂直距離は副孔の半径、ガスの噴射角度、周囲のガスの上昇速度が小さいほど、またガスの初速度が大きいほど長い。副孔つき上吹きランスの二次燃焼率、 γ はFig. 5に示すようにランス高さ、 h' が高いほど大きいが、ガス流量、 Q_{pc} に関しては最適値が存在する。本モデルは上底吹き転炉（K-BOP）によるクロム鉱石の熔融還元時のランス設計に用いられている。

第6章では、各ガス吹き込み法におけるガスメタル間の物質移動速度をコールドモデル装置で調べた。上吹き、底吹きおよび上底吹き法に

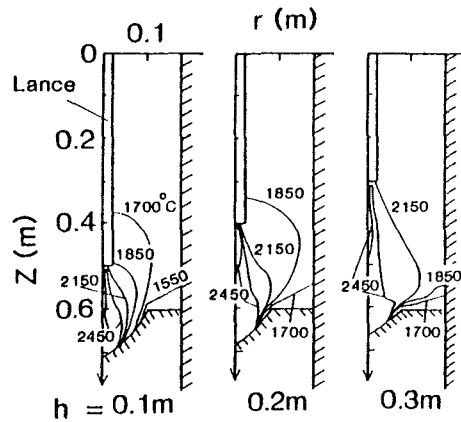


Fig.4 Contours of gas temperature (lance height : 0.1~0.3m, oxygen flow rate : 0.5Nm³/min)

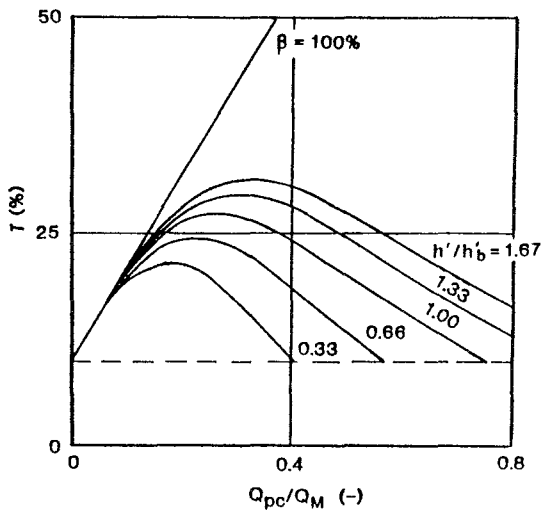


Fig. 5 Influence of oxygen flow rate through secondary flow lance and lance height on post combustion ratio

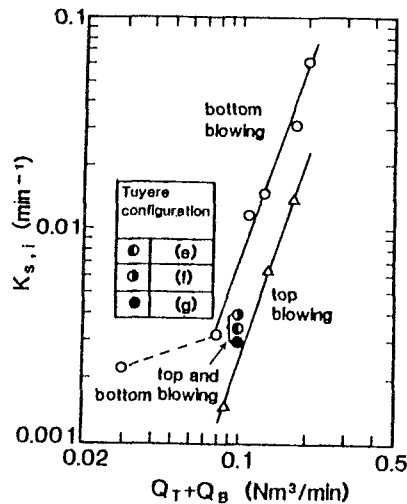


Fig. 6 Relation between capacity coefficient for β naphthol extraction and gas flow rate

関して、物質移動速度におよぼすガス流量やスラグボリュームの影響を求めるとともに、各ガス吹き込み法の値を比較した。上底吹き法のガスメタル間物質移動速度は底吹き比率が大きくなるほど底吹き法のそれに近づき、さらにそれより大きくなることもある。上底吹き法の物質移動速度が上吹き法のそれに比べて大きい理由は底吹きガス攪拌によって上吹き起因の物質移動係数が大きくなったためである。また、上底吹き法のスラグメタル間物質移動速度はFig. 6のように底吹き法と上吹き法の間にあるが、底吹き羽口位置によっても変化する。この知見を利用して上底吹き転炉

(LD-KGC) の羽口配列が設定された。

さて、ステンレス鋼精錬は高価で易酸化性のクロムの酸化損失を極力押さえるために、送酸速度を抑制しつつ鋼浴の CO 分圧を低下させる脱炭期と、酸化クロムの還元回収と脱硫を図る還元期が存在する。そのために普通鋼に比べて精錬時間が長く、生産性向上が望まれていた。そこで、第 7 章では前章までに確立された上底吹き転炉の基本設計条件を踏まえ、従来法に比べて大幅な精錬時間の短縮が可能な上底吹き転炉によるステンレス鋼の新しい高速吹錬法について述べた。本方法は脱炭期に低炭素濃度域まで酸素と不活性ガスとの混合ガスの上吹きを底吹きと併用する方法、および還元期に底吹き羽口から CaO インジェクションを行う方法である。Fig. 7 に 5 t 試験転炉実験における 16%Cr 鋼の脱炭速度の容量係数とガス流量の関係を各方法で示す。上吹き混合ガス併用法 (A-i 法) は従来の底吹き法 (B-i 法) の 2 倍の送酸速度でもクロムの酸化量を増さずに優先脱炭が維持できる。Fig. 8 に 5 t 試験転炉での還元期の硫黄濃度推移を示す。CaO 粉吹き込み速度の大きいほうが脱硫の進行が速い。このように、CaO 粉インジェクション法では Transitory 反応の付加と攪拌エネルギーの供給速度の増加によって酸化クロムの還元および脱硫が通常の上方からの投入添加法に比べて向上する。本ステンレス鋼製錬法はその後実用段階に達した。

第 8 章は結論であり、本研究結果を総括した。

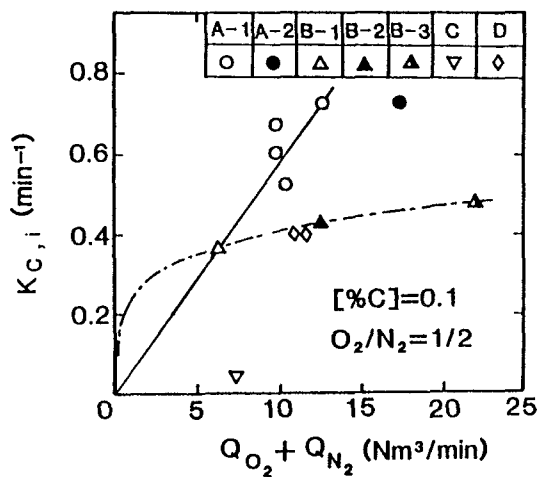


Fig. 7 Capacity coefficient for decarburization vs. gas flow rate

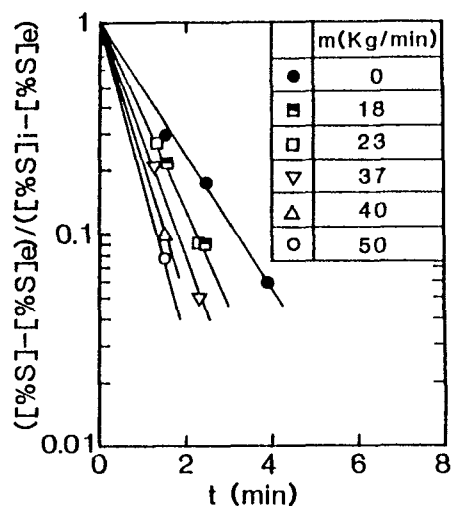


Fig. 8 Effect of lime injection rate on rate of desulfurization in molten steel in 5t test converter

審 査 結 果 の 要 旨

本論文は製鋼用転炉内における流動、熱および物質移動の諸現象を実験と理論の両面から解析することによって上底吹き転炉の基本設計条件を明らかにし、続いて精錬時間の大幅な短縮が可能な上底吹き転炉によるステンレス鋼の新しい高速吹錬法を発展させた経緯について述べたもので、全編8章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の位置づけを明らかにしている。

第2章では、底吹き羽口の最適設計のために、羽口への溶鋼侵入、底吹きによる浴面の盛り上がり、スピitting、ならびに吹抜けの4つの流動現象に着目してコールドおよびホットモデル実験を行い、操業要因との定量的な関係を見出し、羽口内径とガス流量との適正設定範囲を示している。

第3章では、底吹きガス吹き込みに起因し、炉体基礎の破壊にも至り得る浴振動の低減のために、浴振動パターンと羽口配列、ガス流量などの操業要因の関係を把握し、浴振動のエネルギーや発生条件を明らかにしている。第2および3章の結果は弱攪拌型上底吹き転炉の底吹き羽口および羽口配列の設計に定量的な指針を与える有用な知見である。

第4章では、二次燃焼メカニズムの解明のため、炉内の反応を伴うガス流れがシミュレート可能な2次元モデルを構築し、ホットモデル実験でその妥当性を検証している。本研究は転炉内のガスのフローパターン、濃度および温度分布の解析による炉内反応研究の先鞭をつけたものとして評価される。

第5章では、反応を伴う傾斜ガスジェットの挙動を擬一次元モデルで解析し、実炉データと結合させて二次燃焼率の予測が可能な数学モデルを確立している。これは二次燃焼促進のための副孔つき上吹きランスの設計に用いられる有用なモデルである。

第6章では、各ガス吹き込み法（上吹き、底吹き、上底吹き法）におけるガス-メタル間ならびにスラグ-メタル間の物質移動速度をコールドモデル実験を用いて比較し、上底吹き法における物質移動速度の促進メカニズムを明らかにしている。本章の知見は、弱攪拌型上底吹き転炉の羽口配列の設計に有効な指針を与えた。

第7章では、前章までに確立された上底吹き転炉の基本設計条件を踏まえて、ステンレス鋼の新しい高速吹錬法を発展させた経緯について述べている。上吹き混合ガス併用法における脱炭速度およびCaO粉インジェクション法におけるクロム還元と脱硫速度を解析し、これらを各々脱炭期と還元期に用いることにより吹錬速度が従来法に比べて大幅に向上することを5t試験転炉による実験で確認している。本章の知見は、ステンレス鋼の高速精錬法実用化の基礎を与えたもので、高く評価される。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は従来経験的にしか取り扱われていなかった底吹き羽口および羽口配列の設計や、二次燃焼促進用の副孔つき上吹きランスの設計方針を明らかにし、さらに、上底吹き転炉における物質移動速度の促進機構の考察を通して、従来法に比べて格段に秀れた新しいステンレス鋼精錬法開発の基礎を固めたもので、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。